

# A bug-beating diode

## 細菌をやっつけるダイオード

Asif Khan

従来のどんなダイオードよりも波長の短い光を放射するダイオードは有害ではあるが、技術的には非常に有望である。しかし、この期待が確実に実現されるためには、さらなる研究が必要である。

Nature Vol. 441(299)/18 May 2006

地球のオゾン層は、太陽光に含まれる波長の短い紫外線（「UVC」領域）を完全にさえぎっている。そのため、地球上の生物はこの紫外線に対する耐性を発達させておらず、人工的に発生させた UVC 領域の紫外線は細菌、酵母、ウイルス、カビやキノコなどの菌類の処理や駆除に役立つ手段となっている。今のところ、水銀ランプ、キセノンランプ、重水素ランプが主な UVC 領域の紫外線源だが、作動させるには高電圧が必要でサイズが大きいため、水銀が環境に悪影響を与えることとあいまって、消毒や空気・水の浄化手段としても生物医学にも用いられていない。Nature 5月18日号で、谷安たち<sup>1</sup>は窒化アルミニウムをベースとした半導体発光ダイオード(LED)を用いて UVC 領域の紫外線を発生させたことを報告しているが、これは革命をもたらす可能性を秘めている。この LED は、電圧の低い太陽電池を電力源にできるからだ。

一般的に、LED は2つの異なるタイプの伝導性をもつ半導体の接合で構成されている。この2つとは電子伝導とホール伝導で、それぞれ負の電荷担体と正の電荷担体の運動に対応する。接合部で、電子とホールが再結合し、エネルギーが光の形で放射される。半導体の窒化アルミニウムインジウムガリウム (AlInGaN) を用いた効率の高い青緑色 LED は、1990年代初期に初めて報告された<sup>2</sup>。その結果、赤、青、緑の3原色すべての小型低電圧光源が初めて手に入るようになり、照明産業とディスプレイ産業に数

十億ドルのマーケットがひらけたのである。その後続いて、UVA、UVB、UVC に分類されるさらに波長の短い紫外線を放射する LED が現れた<sup>3,4</sup> (図1)。

青緑色 LED と紫外線 LED の双方を開発するうえでの最大の障害は、適切な光学特性をもつさまざまな窒化アルミニウムインジウムガリウム材料の伝導特性の操作がむずかしいことである。このような材料の伝導性のタイプと程度は、ドーピングとよばれるプロセスでシリコンやマグネシウムといった不純物を混合して制御できる。アルミニウムやガリウムを含まない窒化インジウムは可視光と紫外線を吸収し、一般的に良導体である。ドーピングによってその伝導性を操作することも比較的容易だ。同じことが窒化ガリウムにも当てはまるが、この化合物は紫外線のみを吸収し、可視光に対しては完全に透明である。

一般的に、半導体 LED が放射する光の波長は、吸収する光の波長とほぼ同じである。そして、合金中のアルミニウムの割合が多くなると、より波長の短い紫外線領域での透明度が低下する。したがって、窒化インジウムガリウムをベースとした LED が可視光を放射するのに対して、窒化アルミニウムガリウムや窒化アルミニウムをベースとした LED は、それぞれ太陽スペクトルの UVB 領域と UVC 領域の波長の紫外線を発生する。しかし残念ながら、アルミニウムの割合が多くなると、ドーピングのむずかしさも増す。何よりも窒化アルミニウムがむずかしく、実際のところ窒化アルミニウムは絶縁体である。

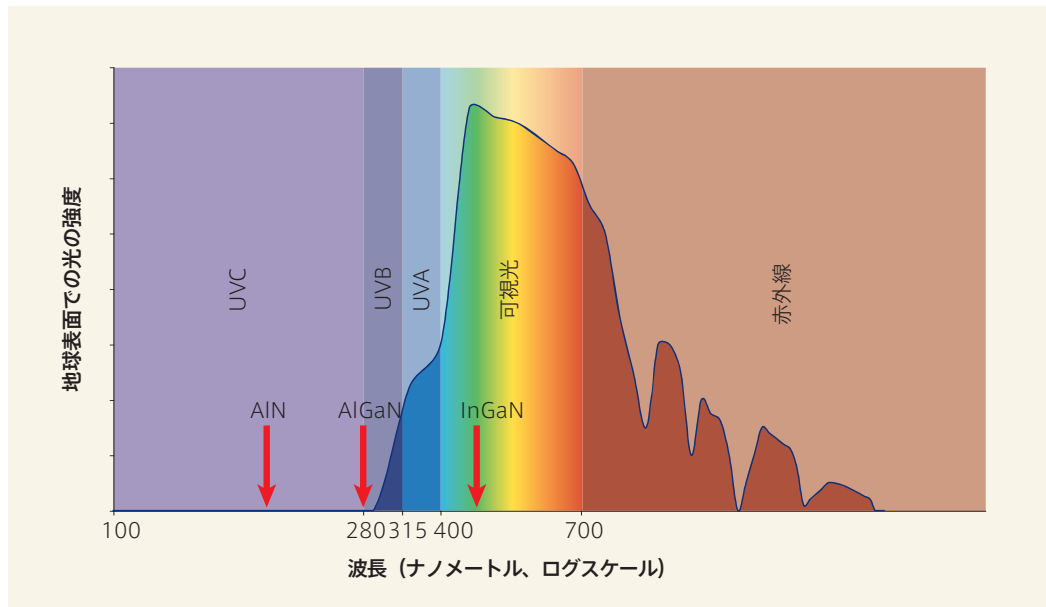


図1 太陽光スペクトルとLED。青線は紫外線から可視光を経て赤外線に至る波長における、地球大気を通過する太陽光のおおよその強度を示す。UVC領域の短い波長の光は大気中のオゾン層によって完全に吸収され、地球上の生物はその光に対する耐性を発達させなかった。それゆえ、UVC領域の光を放射する小規模で低出力の光源は殺菌に利用できる。これまでの研究で、青色の光を放射する窒化インジウムガリウム発光ダイオード(LED)<sup>2</sup>とUVB領域の波長の紫外線を放射する窒化アルミニウムガリウムLED<sup>4</sup>が得られた。しかし、これまで<sup>1</sup>窒化アルミニウムの伝導特性を制御することがむずかしかったため、UVC領域の波長のLEDは製造できなかった。

窒化アルミニウムやアルミニウムの割合の多い窒化アルミニウムガリウムを導体に変えることがむずかしい理由はいくつかある。正負の電流キャリアを余分に生成するには多くの不純物原子を混合する必要があるが、高品質の結晶窒化アルミニウム層を成長させるために必要な高温条件で起こる熱振動効果は、混合プロセスを妨げるように働く。さらに、窒化アルミニウム層はサファイアなどの非窒化物材料の上に蒸着されるので、大量の欠陥が生じ、ドーピングを妨げる。混合されたドーパント種の数が多くなりすぎても欠陥が生成され、その結果として実際に伝導性を減少させる自己補償効果が生まれる。最後に、伝導特性に対するドーピング材料の効果は、製造工程の一部で使われる水素ガスのような別の物質の効果によって補償されることがある。

谷安たちは標準的な成長条件を変えて、これらの障害の克服に大きく貢献した<sup>1</sup>。彼らはドーパントの量を精密に制御して自己補償を防ぎ、アニーリング工程を用いて水素などの反応ガスによる補償効果を妨げた。その結果、正負双方の電流キャリアの十分な伝導性を窒化アルミニウムに与えることができた。

彼らは2つのタイプの伝導特性をもつ層を組み合わせ、波長210nmのUVC領域の光を放射するLEDを製造した。今のところ、この波長は電流注入型のLEDの中で最も短い。

このようなUVC LEDをデバイスに使用できるところまで改良するには、2つの分野での進展が必要である。第1に、効率を少なくとも100万倍向上させること、第2に、動作電圧を谷安たちが用いた25V<sup>1</sup>よりもずっと低くすることである。第1の点を解決するには、窒化アルミニウム層の結晶の品位を大きく向上させる必要がある。第2の点については、室温での伝導性を1,000倍近く向上させるために、より効率的なドーピングが必要になる。これらの課題は両方ともむずかしい。UVC LEDに対する期待を実現するには、さらに大胆で革新的な研究が必要になるだろう。 ■

Asif Khan、サウスカロライナ大学(米)

1. Taniyasu, Y., Kasu, M. & Makimoto, T. *Nature* **441**, 325–328 (2006).
2. Nakamura, S. et al. *Jpn J. Appl. Phys.* **34**, L797–L799 (1995).
3. Kinoshita, A. et al. *Appl. Phys. Lett.* **77**, 175–177 (2000).
4. Sun, W. et al. *Jpn J. Appl. Phys.* **43**, L1419–L1421 (2004).